



**TUGAS AKHIR - SS145561**

**PERENCANAAN PENGENDALIAN KUALITAS STATISTIK  
PADA PRODUK KERTAS PRIMA 56-60  
DI PT. ADIPRIMA SURAPRINTA, GRESIK**

**NUR CENDANA SARI  
NRP 1313 030 026**

**Dosen Pembimbing  
Drs. Haryono, M.SIE**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III  
JURUSAN STATISTIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**



**TUGAS AKHIR - SS 145561**

**PERENCANAAN PENGENDALIAN KUALITAS STATISTIK  
PADA PRODUK KERTAS JENIS PRIMA 56-60  
DI PT. ADIPRIMA SURAPRINTA, GRESIK**

**NUR CENDANA SARI  
NRP 1313 030 026**

**Dosen Pembimbing  
Drs. Haryono, M.SIE**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III  
JURUSAN STATISTIKA  
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**



**FINAL PROJECT - SS 145561**

**STATISTICAL QUALITY CONTROL PLANNING OF PULPER  
TYPE: 56-60 PRODUCTION PROCESS IN PT. ADIPRIMA  
SURAPRINTA, GRESIK**

**NUR CENDANA SARI  
NRP 1313 030 026**

**Supervisor  
Drs. Haryono, M.SIE**

**DIPLOMA III STUDY PROGRAM  
DEPARTMENT OF STATISTICS  
Faculty of Mathematics and Natural Sciences  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**

## LEMBAR PENGESAHAN

**PERENCANAAN PENGENDALIAN KUALITAS STATISTIK  
PADA PRODUK KERTAS PRIMA 56-60  
DI PT. ADIPRIMA SURAPRINTA, GRESIK**

### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya  
pada

Program Studi Diploma III Jurusan Statistika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**NUR CENDANA SARI  
NRP. 1313 030 026**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

**Drs. Haryono, M.SIE**

**NIP. 19520919 197901 1 001**

Mengetahui

**Ketua Jurusan Statistika FMIPA-ITS**

**Dr. Suhartono**

**NIP. 19710929 199512 1 001**

**JURUSAN  
STATISTIKA**

**SURABAYA, JUNI 2016**

**LEMBAR PERNYATAAN  
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini saya :

Nama : Nur Cendana Sari  
Nrp. : 1313 030 026  
Jurusan / Fak. : D3 Statistika / FMIPA  
Alamat kontak : Jl. Menganti Kramat Tl B No.19F ,Surabaya  
a. Email : nurcendanasari96@gmail.com  
b. Telp/HP : 08886310820

Menyatakan bahwa semua data yang saya *upload* di Digital Library ITS merupakan hasil final (revisi terakhir) dari karya ilmiah saya yang sudah disahkan oleh dosen penguji. Apabila dikemudian hari ditemukan ada ketidaksesuaian dengan kenyataan, maka saya bersedia menerima sanksi.

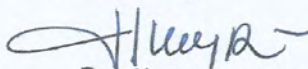
Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-Exclusive Royalti-Free Right*) kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Perencanaan Pengendalian Kualitas Statistik pada Produk  
Kertas Prima 60-60 di PT. Adiprima Suraprinta Gresik

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta. Saya bersedia menanggung secara pribadi, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya Ilmiah saya ini tanpa melibatkan pihak Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dosen Pembimbing 1

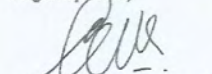
  
Drs. Haryono, M.SiE

NIP. 19520919 197901 1001

Dibuat di : Surabaya

Pada tanggal : 27 Juni 2016

Yang menyatakan,

  
Nur Cendana Sari

Nrp. 1313030026

**KETERANGAN :**

Tanda tangan pembimbing wajib dibubuhi stempel jurusan.

Form dicetak dan diserahkan di bagian Pengadaan saat mengumpulkan hard copy TA/Tesis/Disertasi.

**PERENCANAAN PENGENDALIAN KUALITAS  
STATISTIK PADA PRODUK KERTAS JENIS PRIMA  
56-60 DI PT. ADIPRIMA SURAPRINTA, GRESIK**

**Nama Mahasiswa** : Nur Cendana Sari  
**NRP** : 1313 030 026  
**Program Studi** : Diploma III  
**Jurusan** : Statistika FMIPA ITS  
**Dosen Pembimbing** : Drs. Haryono, M.SIE

**Abstrak**

Persaingan industri kertas sangat ketat dan konsumen sudah pandai dalam memilih produk kertas yang berkualitas membuat perusahaan mementingkan kualitas dalam hasil produksinya agar tetap bisa menjaga konsistensi kualitasnya demi menjadi perusahaan terdepan. PT. Adiprima Suraprinta merupakan salah satu perusahaan industri kertas yang banyak memproduksi jenis Prima 56-60 yang digunakan sebagai kertas koran Jawa Pos. Tahap awal produksi kertas yaitu pengahancuran bahan baku menjadi buburan kertas dengan bantuan bahan-bahan kimia. Tahap ini merupakan tahap yang paling penting dalam produksi kertas. Proses ini dilakukan di mesin *hidro pulper*. Pada proses ini dilakukan pengecekan meliputi PH, *Consistency* dan *Brightness*. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh dari pengamatan langsung pada tanggal 6 April hingga 16 April 2016. Berdasarkan hasil analisis disimpulkan bahwa proses produksi kertas Prima 56-60 tidak terkendali statistik. Karakteristik yang paling berkontribusi menyebabkan proses tidak terkendali yaitu *brightness*. Faktor yang menyebabkan proses produksi kertas Prima 56-60 tidak terkendali yaitu karena proses manufaktur di *hidro pulper* yang tidak baik. Hal ini berarti proses manufakturnya harus terlebih dahulu diperbaiki.

**Kata Kunci** : Buburan Kertas, Grafik Kendali *Generalized Variance*, Grafik Kendali  $T^2$  *Hotelling*, Komponen Variansi, Rancangan Bersarang Dua Faktor.

**STATISTICAL QUALITY CONTROL PLANNING OF  
PULPER TYPE: 56-60 PRODUCTION PROCESS  
IN PT. ADIPRIMA SURAPRINTA, GRESIK**

**Student Name** : Nur Cendana Sari  
**NRP** : 1313 030 026  
**Programme** : Diploma III  
**Departement** : Statistics FMIPA ITS  
**Academic Supervisor** : Drs. Haryono, M.SIE

**Abstract**

*The competition of industrial paper is extremely tight where consumers are clever to choose high quality paper which makes the company concerned about the importance of its quality products for its consistency in order to become a leading company. PT. Adiprima Suraprinta is one of an industrial paper concern in Prima 50-60 paper production which are used to Jawa Pos mainly basic paper. First stage of the production, which is the most important stage of all, is by crushing the raw materials into pulp with chemical reaction using hydro pulper machine. So, in this stage of production should be checked its quality by controlling the quality of the products. In this process, pH, consistency, and brightness are checked. Data that used in this study is a primer data by doing direct observation in 6-16 April 2016. This study was conducted to determine whether the process of paper production is statistically in control or yet. By doing the analysis it's given that the process of Prima 56-60 paper production are not statistically in control. The main characteristics which give a big reason of it is the brightness, and also manufacturing process in hydro pulper is not good, that means the manufacturing process must be repaired first.*

**Keywords** : Component Variance, Generalized Variance Control Charts, Pulper,  $T^2$  Hotelling Control Charts, Two Nested Factor Design.

# DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xix</b>
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Permasalahan .....	2
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	3
 <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Pengujian Korelasi antar Variabel .....	5
2.2 Distribusi Normal Multivariat .....	6
2.3 Grafik Kendali Multivariat $T^2$ Hotelling Subgrup .....	7
2.4 Grafik Kendali <i>Generalized Variance</i> .....	10
2.5 Perencanaan Pengendalian Kualitas dengan Komponen Varians .....	10
2.6 Proses <i>Hidro Pulper</i> .....	16
 <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Sumber Data .....	17
3.2 Variabel Penelitian .....	17
3.3 Struktur Data .....	17
3.4 Langkah Analisis .....	19
3.5 Diagram Alir .....	20
 <b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Pengujian Korelasi antar Variabel .....	23



4.2 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat .....	23
4.3 Grafik Kendali <i>Generalized Variance</i> .....	24
4.4 Grafik Kendali Multivariat $T^2$ <i>Hotelling</i> .....	24
4.5 Perencanaan Kualitas dengan Komponen Variansi .....	26
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	33
5.2 Saran .....	33
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	35
<b>LAMPIRAN</b> .....	37
<b>BIOGRAFI PENULIS</b> .....	51

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Bagan Rancangan Bersarang Dua Faktor .....	11
<b>Gambar 2.2</b> Proses Manufaktur .....	16
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir .....	20
<b>Gambar 4.1</b> Grafik Kendali GV .....	24
<b>Gambar 4.2</b> Grafik Kendali $T^2$ Hotelling Subgrup .....	25
<b>Gambar 4.3</b> Histogram Karakteristik Kualitas <i>Brightness</i> .....	27
<b>Gambar 4.5</b> Plot Residual Vs Fits .....	28
<b>Gambar 4.6</b> <i>Probability Plot of Residual</i> .....	30

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1</b> Struktur Data Grafik Kendali $T^2$ Hotelling .....	8
<b>Tabel 2.2</b> Struktur Data Rancangan Bersarang .....	11
<b>Tabel 2.3</b> <i>Expected Mean Square in Two-Stage Nested Design</i> .....	13
<b>Tabel 2.4</b> <i>ANOVA for the Two-stage Nested Design</i> .....	13
<b>Tabel 3.1</b> Variabel Penelitian .....	17
<b>Tabel 3.2</b> Struktur Data $T^2$ Hotelling .....	18
<b>Tabel 3.3</b> Struktur Data Pengamatan Rancangan Bersarang .....	18
<b>Tabel 4.1</b> Karakteristik Penyebab Proses tidak terkendali .....	26
<b>Tabel 4.2</b> ANOVA .....	28
<b>Tabel 4.3</b> Komponen Variansi .....	31

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

PT. Adiprima Suraprinta adalah anak perusahaan Jawa Pos Grub yang bertempat di Desa Sumengko, Wringinanom, Gresik. PT. Adiprima Suraprinta berdiri sejak tahun 1997 yang merupakan salah satu perusahaan industri di Indonesia yang memproduksi kertas. Produksi yang dihasilkan PT. Adiprima Suraprinta salah satunya adalah kertas jenis Prima 56-60. Seiring meningkatnya kebutuhan masyarakat dengan kertas, mendorong perusahaan ini dibangun. Persaingan industri kertas sangat ketat dan konsumen sudah pandai dalam memilih produk kertas yang berkualitas, sehingga PT. Adiprima Suraprinta perlu memperhatikan kualitas pada hasil produksinya agar tetap bisa menjaga konsistensi kualitasnya demi menjadi perusahaan terdepan di Indonesia. Kualitas harus diutamakan perusahaan dalam mencapai kepuasan pelanggan karena kepuasan pelanggan mempengaruhi pendapatan PT. Adiprima Suraprinta sehingga kualitas produksi kertas harus dikendalikan.

Proses produksi kertas di PT. Adiprima Suraprinta meliputi dua tahap, tahap pertama adalah *Stock Preparation* yaitu pengolahan bahan baku menjadi buburan kertas dengan menggunakan bahan-bahan kimia yang akan menjadi lembaran kertas dan tahap kedua adalah *Paper Machine* yaitu proses dari tahap *Stock Preparation* menjadi pembentukan lembaran kertas. Pada tahap *Stock Preparation* terdapat proses yaitu *Hidro Pulper* yaitu proses mengolah bahan baku menjadi buburan kertas dengan menggunakan bahan kimia. Pada proses ini dilakukan pengecekan meliputi pH, *consistency* dan *brightness*. Ketiga parameter ini akan memengaruhi kualitas buburan yang akan diproses pada proses berikutnya, sehingga perlu dilakukan pengecekan.

Ada tiga karakteristik kualitas dalam proses *Hidro Pulper* yaitu pH, *consistency* dan *brightness*. Ketiga karakteristik kualitas ini akan dikendalikan kualitasnya. Diduga ketiga karakteristik

kualitas ini memiliki hubungan (dependen) antar karakteristik yang satu dengan yang karakteristik kualitas yang lain. Sehingga peta kendali  $T^2$  *Hotelling* dapat digunakan dalam pemeriksaan kualitasnya.

PT. Adiprima Suraprinta mendapatkan bahan baku kertas yaitu pulp dari berbagai pemasok. Pemasok pulp berasal dari lokal dan dari impor. Pemilihan pemasok didasarkan pada harga dan kuantitas dari pemasok. Sehingga beragamnya pemasok ini diduga mempengaruhi kualitas hasil produksi kertas. Selain dari bahan baku, faktor lain yang mempengaruhi yaitu dari proses manufaktur dan pengukuran oleh alat ukur. Penyebab ketidaksesuaian produk dapat dicari dari ketiga faktor tersebut dengan melihat faktor mana yang memberikan varians terbesar dalam proses produksi. Sehingga perusahaan dapat mengambil langkah tepat yang menjadi prioritas utama dalam perbaikan kualitas produk kertas Prima 56-60. Untuk memecah varians total menjadi tiga varians maka dapat menggunakan rancangan bersarang.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Kusumaningrum (2011) tentang pengendalian kualitas statistik dengan menggunakan peta kendali  $T^2$  *Hotelling* yang memberikan hasil bahwa pada proses pembuatan botol sting tidak terkendali statistik kemudian dilakukan dekomposisi pada titik yang keluar dari batas kendali, didapatkan batas kendali baru dengan nilai batas kendali atas 15,92 dan batas kendali bawah 0. Selain itu penelitian tentang metode yang sama yaitu oleh Fitria (2013) tentang grafik pengendali multivariat  $T^2$  *Hotelling* terhadap kualitas produk kertas *News Print Paper*, didapatkan hasil bahwa dengan karakteristik kualitas *Gramature*, *Tickness* dan *Tensile Strenght* ada pengamatan yang tidak terkendali statistik.

## 1.2 Rumusan Permasalahan

Permasalahan yang ada di PT. Adiprima Suraprinta yaitu banyaknya produk yang tidak sesuai standart pada akhir proses, sehingga kualitas yang dihasilkan tidak memenuhi spesifikasi. Untuk itu perlu melakukan penelitian untuk mengetahui proses

produksi kertas Prima 56-60 sudah terkendali statistik atau belum serta mengetahui faktor apa yang menyebabkan kertas disesuaikan. Sehingga dapat dirumuskan masalah sebagai berikut.

1. Apakah proses *Hidro Pulper* pada kertas jenis Prima 56-60 di PT. Adiprima Suraprinta sudah terkendali secara statistik?
2. Apakah penyebab utama yang menyebabkan proses *Hidro Pulper* pada kertas jenis Prima 56-60 di PT. Adiprima Suraprinta tidak sesuai?

### **1.3 Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah memonitoring proses pengendalian kualitas kertas jenis Prima 56-60 sudah terkendali secara statistik atau belum dan mengetahui penyebab utama yang menyebabkan proses *Hidro Pulper* pada kertas jenis 56-60 di PT. Adiprima Suraprinta tidak terkendali untuk segera dilakukan perbaikan terlebih dahulu.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh dari penelitian Tugas Akhir ini adalah dapat memonitoring proses pengendalian kualitas statistik yang ada di PT. Adiprima Suraprinta Gresik sehingga dapat mengantisipasi kualitas buburan kertas agar sesuai dengan standart dan dapat mencegah kualitas yang tidak diinginkan berkepanjangan. Menjadi bahan masukan untuk memperbaiki proses produksi baik dari pemilihan pemasok, mesin dan teknik pengukuran sehingga dapat mencegah pemborosan (biaya) selama proses produksi.

### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah produk kertas yang digunakan dalam penelitian hanya produk kertas jenis Prima 56-60. Pengambilan sampel dilakukan di proses *hydro pulper* pada *Stock Preparation* 1 saja.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengujian Korelasi antar Variabel

Pengamatan dengan  $p$  variabel, yaitu  $X_1, X_2, \dots, X_p$  dikatakan berkorelasi jika matriks korelasi antar variabel sama dengan matriks identitas (Morrison, 1990). Untuk mengetahui apakah variabel-variabel yang independen maka digunakan metode *Barlett's Sphericity* dengan hipotesis sebagai berikut.

$H_0 : \mathbf{R} = \mathbf{I}$  (Tidak ada korelasi antar variabel)

$H_1 : \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$  (Ada korelasi antar variabel)

Statistik Uji *Chi square* :

$$\chi^2 = -\ln|\mathbf{R}| \left[ n - 1 - \frac{2p+5}{6} \right] \quad (2.1)$$

dimana:

$n$  = jumlah observasi

$p$  = jumlah variabel kualitas

$\mathbf{R}$  = matrik korelasi

Daerah penolakan :  $H_0$  ditolak jika nilai  $\chi_{hitung}^2 > \chi_{(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1))}^2$

$\chi_{(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1))}^2$  adalah nilai distribusi *chi-square* dengan taraf

signifikan sebesar  $\alpha$  dan memiliki nilai derajat bebas  $\frac{1}{2}p(p-1)$ .

Dengan matriks korelasi sebagai berikut,

$$\mathbf{R} = (r_{pq}) = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}. \quad (2.2)$$



Matriks  $\mathbf{R}$  adalah matriks simetris, dimana  $r_{pq} = r_{qp}$ .

$$r_{pq} = \frac{\sum_{r=1}^m (x_{pr} - \bar{x}_p)(x_{qr} - \bar{x}_q)}{(m-1)\mathbf{S}_{pp}\mathbf{S}_{qq}}. \quad (2.3)$$

$$\mathbf{S}_{pp} = \sqrt{\frac{\sum_{r=1}^m (x_{pr} - \bar{x}_p)^2}{m-1}},$$

$$\mathbf{S}_{qq} = \sqrt{\frac{\sum_{r=1}^m (x_{qr} - \bar{x}_q)^2}{m-1}},$$

dimana:

$r_{jp}$  = Nilai korelasi antar karakteristik kualitas ke-p dengan karakteristik kualitas-q

$p = 1, 2, \dots, j$

$q = 1, 2, \dots, j$

$j$  = Banyaknya karakteristik kualitas

$m$  = Banyaknya pengamatan.

## 2.2 Distribusi Normal Multivariat

Pengujian distribusi normal multivariat dengan menggunakan mardia tes yaitu dengan mardia *mSkewness* dan *mKurtosis*. Definisikan multivariat *skewness* sebagai  $b_1, k$  dan kurtosis sebagai  $b_2, k$ , sehingga didapatkan rumus sebagai berikut (Mardia, 1970).

$$b_1, k = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N g_{ij}^3, \quad (2.4)$$

$$b_2, k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g_{ii}^2, \quad (2.5)$$

$$g_{ij} = (x_i - \bar{x})\mathbf{S}^{-1}(x_j - \bar{x}). \quad (2.6)$$

Statistik uji pada rumus (2.7) dengan aproksimasi distribusi *Chi-Sq* dengan derajat bebas  $k(k+1)(k+2)/6$ .

$$z_1 = \frac{(k+1)(N+1)(N+3)}{6\{(N+1)(k+1)-6\}} b_1, k. \quad (2.7)$$

Statistik uji rumus (2.8) dengan aproksimasi distribusi  $N(0,1)$

$$z_2 = \frac{b_2, k - k(k+2)}{\sqrt{8k(k+2)/N}}. \quad (2.8)$$

### 2.3 Grafik Kendali Multivariat $T^2$ Hotelling Subgrup

Grafik kendali  $T^2$  Hotelling digunakan untuk mengontrol suatu proses produksi dari proses multivariat. Grafik kendali  $T^2$  Hotelling mempunyai dua jenis yaitu grafik kendali  $T^2$  Hotelling untuk data subgrup dan grafik kendali  $T^2$  Hotelling untuk data individual. Grafik kendali  $T^2$  Hotelling individual digunakan apabila ukuran subgrup sampel ( $n$ ) yang digunakan adalah satu ( $n=1$ ) sedangkan grafik kendali  $T^2$  Hotelling subgrup digunakan apabila pengamatan menggunakan sampel dengan jumlah lebih dari satu.

Misalkan  $\mathbf{X} = \{x_i\}$  adalah matriks acak berukuran  $n \times p$  dan berdistribusi normal  $p$ -variat, dengan fungsi kepadatan normal multivariat dari  $\mathbf{X}$  dinotasikan oleh  $\mathbf{X} \sim N_p(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma})$  dengan matriks data sebagai berikut,

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mp} \end{bmatrix}, \quad (2.9)$$

dimana  $n$  menyatakan banyak sampel dan  $p$  menyatakan banyaknya karakteristik kualitas. Nilai statistik  $T^2$  Hotelling subgrup menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$T_k^2 = n \left( \bar{\mathbf{x}}_{.jk} - \bar{\mathbf{x}}_{.j.} \right)' \mathbf{S}^{-1} \left( \bar{\mathbf{x}}_{.jk} - \bar{\mathbf{x}}_{.j.} \right), k = 1, 2, \dots, m. \quad (2.10)$$

Matriks kovarians  $\mathbf{S}$  adalah sebagai berikut.

$$S = \begin{bmatrix} \bar{S}_1^2 & \bar{S}_{12} & \bar{S}_{13} & \cdots & \bar{S}_{1p} \\ & \bar{S}_2^2 & \bar{S}_{23} & \cdots & \bar{S}_{2p} \\ & & \bar{S}_3^2 & & \vdots \\ & & & \ddots & \bar{S}_p^2 \end{bmatrix}. \quad (2.11)$$

Grafik kendali  $T^2$  Hotelling memiliki batasan kontrolnya dengan nilai sebagai berikut,

$$BKA = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1} f_{\alpha, p, (mn-m-p+1)}, \quad (2.12)$$

$$BKB = 0$$

dimana:

$BKA$  = batas kendali atas

$BKB$  = batas kendali bawah

$m$  = banyaknya subgrup

$n$  = banyaknya pengulangan tiap subgrup.

Struktur data grafik kendali  $T^2$  Hotelling ditunjukkan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Struktur Data Grafik Kendali  $T^2$  Hotelling

Subgrup ( $k$ )	Pengulangan ( $i$ )	Variabel Kualitas ( $j$ )			
		1	2	...	$p$
1	1	$X_{111}$	$X_{121}$	...	$X_{1p1}$
	2	$X_{211}$	$X_{221}$	...	$X_{2p1}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	$n$	$X_{n11}$	$X_{n21}$	...	$X_{np1}$
	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_{11}$	$\bar{x}_{12}$	...	$\bar{x}_{1j}$
	$s_1^2$	$s_{11}^2$	$s_{12}^2$	...	$s_{1j}^2$
2	1	$X_{112}$	$X_{122}$	...	$X_{1p2}$
	2	$X_{212}$	$X_{222}$	...	$X_{2p2}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	$n$	$X_{n12}$	$X_{n22}$	...	$X_{np2}$
	$\bar{x}_2$	$\bar{x}_{21}$	$\bar{x}_{22}$	...	$\bar{x}_{2j}$
	$s_2^2$	$s_{21}^2$	$s_{22}^2$	...	$s_{2j}^2$

Tabel 2.1 Lanjutan

Subgrup ( <i>k</i> )	Pengulangan ( <i>i</i> )	Variabel Kualitas ( <i>j</i> )			
		1	2	...	<i>p</i>
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
<i>m</i>	1	$X_{11m}$	$X_{12m}$	...	$X_{1pm}$
	2	$X_{21m}$	$X_{22m}$	...	$X_{2pm}$
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	<i>n</i>	$X_{n1m}$	$X_{n2m}$	...	$X_{npm}$
	$\bar{x}_m$	$\bar{x}_{m1}$	$\bar{x}_{m2}$	...	$\bar{x}_{mj}$
	$s_m^2$	$s_{m1}^2$	$s_{m2}^2$	...	$s_{mj}^2$
Rata-rata Keseluruhan		$\bar{\bar{X}}_1$	$\bar{\bar{X}}_2$	...	$\bar{\bar{X}}_j$
Varians Keseluruhan		$\bar{\bar{S}}_1^2$	$\bar{\bar{S}}_2^2$	...	$\bar{\bar{S}}_j^2$

### 2.3.1 Interpretasi Signal yang Keluar dari Batas Kendali

Pada proses pengendalian multivariat, sangat sulit diketahui variabel mana yang bertanggung jawab terhadap terjadinya titik diluar batas kendali, karena ada sebanyak *p* variabel yang berkontribusi terhadap proses. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendiagnosisnya dengan menggunakan dekomposisi nilai statistik  $T^2$  menjadi komponen yang dapat merefleksikan kontribusi dari masing-masing variabel. Indikator dari hubungan kontribusi variabel statistik dapat dirumuskan sebagai berikut (Montgomery, 2009).

$$d_i = T^2 - T_{(i)}^2, \quad (2.13)$$

dimana:

$T_{(i)}^2$  = nilai statistik untuk semua variabel kecuali variabel ke-*i*.

Semakin besar nilai  $d_i$  maka akan semakin besar pula kontribusi variabel ke-*i* terhadap terjadinya titik yang keluar dari batas kendali (Montgomery, 2009).

### 2.4 Grafik Kendali *Generalized Variance*

Grafik kendali *Generalized Variance* (GV) digunakan untuk mengetahui apakah varians pada suatu proses produksi sudah

terkendali atau belum. Metode yang digunakan untuk Grafik Kendali GV  $|S|$  menggunakan  $E(|S|)$  dan varians  $V(|S|)$  sebagai berikut (Montgomery, 2009).

$$E(|S|) = b_1 |\Sigma|, \quad (2.14)$$

$$Var(|S|) = b_2 |\Sigma|^2, \quad (2.15)$$

dimana:

$$b_1 = \frac{1}{(n-1)^p} \prod_{i=1}^p (n-i), \quad (2.16)$$

$$b_2 = \frac{1}{(n-1)^{2p}} \prod_{i=1}^p (n-i) \left\{ \prod_{j=1}^p (n-j+2) - \prod_{j=1}^p (n-j) \right\}, \quad (2.17)$$

dengan batas kendali Grafik Kendali GV adalah:

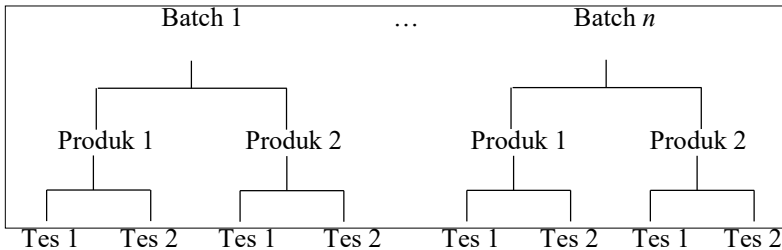
$$BKA = |\Sigma| \left( b_1 + 3b_2^{1/2} \right), \quad (2.18)$$

$$GT = |\Sigma| b_1, \quad (2.19)$$

$$BKB = |\Sigma| \left( b_1 - 3b_2^{1/2} \right). \quad (2.20)$$

## 2.5 Perencanaan Pengendalian Kualitas dengan Komponen Varians

Untuk partisi total varians dari pemasok, proses manufaktur dan pengukuran maka butuh mengumpulkan data dengan terstruktur (Joglekar, 2003). Variabilitas yang besar membutuhkan perbaikan proses. Untuk menghitung kapabilitas diperlukan data dengan derajat bebas paling sedikit 30 untuk mengestimasi masing-masing komponen varians. Untuk memecahkan varians total menjadi varians tiga faktor maka rancangan yang tepat digunakan adalah menggunakan rancangan bersarang. Berikut adalah diagram rancangan bersarang.



**Gambar 2.1** Bagan Rancangan Bersarang Dua Faktor

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa pada batch 1 diambil produk 1 sebagai sampel pertama kemudian dilakukan tes pengukuran ke-1 untuk mengetahui nilai kualitasnya dan dilakukan pengulangan pengukuran sebanyak 2 kali. Pada batch yang sama (batch 1) diambil produk 2 sebagai sampel kedua kemudian dilakukan tes pengukuran sebanyak dua kali untuk mengetahui nilai kualitasnya. Begitu pula pada batch ke- $n$  diambil produk produk 1 sebagai sampel pertama kemudian dilakukan tes pengukuran sebanyak 2 kali. Sehingga didapatkan struktur data rancangan bersarang yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Struktur Data Rancangan Bersarang

<i>Batches</i>	<i>Product</i>	<i>Test</i>	<b>Karakteristik Kualitas</b>
1	1	1	$Y_{111}$
1	1	2	$Y_{112}$
1	2	1	$Y_{121}$
1	2	2	$Y_{122}$
2	1	1	$Y_{211}$
2	1	2	$Y_{212}$
2	2	1	$Y_{221}$
2	2	2	$Y_{222}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$n$	1	1	$Y_{n11}$
$n$	1	2	$Y_{n12}$
$n$	2	1	$Y_{n21}$
$n$	2	2	$Y_{n22}$

### 2.5.1 Analisis Varians Rancangan Bersarang 2 Faktor

Struktur bersarang didesain untuk mengestimasi komponen varians meliputi (Joglekar, 2003).

1. Varians dari pemasok yang dilambangkan dengan  $\sigma_B^2$ .
2. Varians antar nilai variabel kualitas di dalam satu batch (proses manufaktur) yang dilambangkan dengan  $\sigma_P^2$ .
3. Varians antar pengukuran di dalam satu produk (metode pengukuran) dilambangkan  $\sigma_e^2$ .

Model statistik linier untuk *two-stage nested design* adalah:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_{j(i)} + e_{k(ij)}, \quad (2.21)$$

dimana:

$$i = 1, 2, \dots, a$$

$$j = 1, 2, \dots, b$$

$$k = 1, 2, \dots, n$$

$a$  = Jumlah level faktor A

$b$  = Jumlah level faktor B

$n$  = Jumlah pengulangan.

Artinya terdapat  $a$  level pada faktor A dan  $b$  level pada faktor B dimana level B tersarang di bawah setiap level dari faktor A, dan  $n$  replikasi. Subskrip  $j(i)$  menunjukkan bahwa level ke- $j$  dari faktor B adalah tersaaarang di bawah level ke- $i$  dari faktor A. hal ini menjelaskan bahwa replikasi adalah bersarang dalam kombinasi tingkat A dan B, sehingga subskrip  $(ij)k$  digunakan untuk kesalahan percobaan (Montgomery, 2013).

Perhitungan rumus *sum of square* adalah sebagai berikut.

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{i..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}, \quad (2.22)$$

$$SS_{B(A)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij.}^2 - \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{i..}^2, \quad (2.23)$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}, \quad (2.24)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{B(A)} - SS_A. \quad (2.25)$$

Jika error bersifat NID  $(0, \sigma^2)$  maka dapat membagi setiap rumus *sum of square* pada ruas kanan persamaan di atas dengan masing-masing derajat bebas untuk memperoleh *mean square* yang berdistribusi independen sedemikian sehingga rasio dari setiap dua *mean square* berdistribusi F (Montgomery, 2013).

**Tabel 2.3** *Expected Mean Square in Two-Stage Nested Design*

$E(MS)$	A dan B Random
$E(MS_A)$	$\sigma^2 + n\sigma_B^2 + bn\sigma_A^2$
$E(MS_{B(A)})$	$\sigma^2 + n\sigma_B^2$
$E(MS_e)$	$\sigma^2$

Sehingga didapatkan:

$$\sigma_t^2 = \sigma_B^2 + \sigma_P^2 + \sigma_e^2. \quad (2.26)$$

Karena faktor A dan faktor B acak, maka

$H_0 : \sigma_A^2 = 0$  diuji dengan  $MS_A/MS_{B(A)}$

$H_0 : \sigma_B^2 = 0$  diuji dengan  $MS_{B(A)}/MS_E$

Prosedur pengujiannya dirangkum dalam tabel analisis varians yang ditunjukkan pada Tabel 2.4 (Montgomery, 2013).

**Tabel 2.4** *ANOVA for the Two-stage Nested Design*

Source	DF	SS	MS
A	a - 1	$\frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{i..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$	$MS_A$
B within A	a(b - 1)	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij.}^2 - \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{i..}^2$	$MS_{B(A)}$
Error	ab(n - 1)	$SS_T - SS_{B(A)} - SS_A$	$MS_E$
Total	abn - 1	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$	

dimana:

a = jumlah level faktor A

b = jumlah level faktor B

n = jumlah pengulangan.



### 2.5.2 Pemeriksaan Asumsi Residual IIDN ( $0, \sigma^2$ )

Pemeriksaan Asumsi Residual IIDN (Identik, Independen, Distribusi Normal) merupakan uji yang harus dilakukan apakah data yang digunakan memenuhi ketiga asumsi tersebut dalam melakukan pengujian.

#### a. Pemeriksaan Residual Identik

Pemeriksaan asumsi residual identik dilakukan untuk melihat apakah residual memenuhi asumsi identik. Suatu data dikatakan identik apabila plot residualnya menyebar secara acak dan tidak membentuk suatu pola tertentu. Nilai varians rata-ratanya sama antara varians satu dengan yang lainnya (Sudjana, 1996).

Sedangkan untuk pengujian asumsi residual identik dapat menggunakan uji *Glejser*. Pemeriksaan ini dilakukan dengan cara meregresikan nilai absolut residual terhadap variabel bebas ( $x$ ). Apabila terdapat variabel bebas yang signifikan maka varians residual dapat dikatakan tidak homogen (Draper & Smith, 1998). Hipotesis dari pengujian ini sebagai berikut :

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_n^2 = \sigma^2$$

$$H_1 : \text{minimal terdapat satu } \sigma_i^2 \neq \sigma^2, i = 1, 2, \dots, n.$$

Daerah Kritis : Tolak  $H_0$  , jika nilai  $F_{hitung} > F_{\alpha (k, n-k-1)}$ .

Statistik Uji :

$$F_{hitung} = \frac{MS_{regresi}}{MS_{residual}}. \quad (2.27)$$

#### b. Pemeriksaan Residual Independen

Pemeriksaan Asumsi Residual independen dilakukan untuk melihat apakah residual memenuhi asumsi independen. Suatu data dikatakan independen apabila plot residualnya menyebar secara acak dan tidak membentuk suatu pola tertentu (Sudjana, 1996).

Sedangkan untuk pengujian asumsi residual independen dapat dilakukan dengan menggunakan uji *Durbin Watson*. Berikut adalah cara pengujian *Durbin Watson*.

Hipotesis:

$$H_0 : \rho = 0 \text{ (Tidak ada korelasi antar residual)}$$

$$H_1 : \rho \neq 0 \text{ (Ada korelasi antar residual)}$$

Daerah kritis: Tolak  $H_0$  jika  $d < d_u$

Statistik Uji :

$$d = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (2.28)$$

### c. Pemeriksaan Residual Berdistribusi Normal ( $0, \sigma^2$ )

Uji residual berdistribusi normal dilakukan untuk melihat apakah residual memenuhi asumsi berdistribusi normal, apabila plot residualnya cenderung mendekati garis lurus (garis linier) dengan uji Kolmogorov Smirnov dengan melihat nilai *P-value* (Sudjana, 1996).

Hipotesis:

$H_0 : f(x) = f_0(x)$  untuk semua nilai  $x$  (Residual berdistribusi normal)

$H_1 : f(x) \neq f_0(x)$  untuk sekurang-kurangnya sebuah nilai  $x$  (Residual tidak berdistribusi normal)

Daerah Kritis: Tolak  $H_0$  , jika  $|D| > D_{\text{tabel Kolmogorov Smirnov}}$  atau  $P_{\text{value}} < \alpha$

Statistik Uji:

$$D = \sup |S_n(x) - f_0(x)| \quad (2.29)$$

dimana :

$S_n$  = fungsi peluang kumulatif data sampel

$f(x)$  = fungsi distribusi yang belu diketahui

$f_0(x)$  = fungsi distribusi kumulatif distribusi normal

$D$  = supremum semua  $x$  dari nilai  $|S_n(x) - f_0(x)|$ .

### 2.5.3 Komponen Variansi

Komponen variansi untuk kasus efek acak dapat digunakan untuk memperkirakan komponen varians  $\sigma^2$ ,  $\sigma_B^2$  dan  $\sigma_P^2$  dari ekspektasi *mean square* pada kolom terakhir Tabel 2.4 (Montgomery, 2013), diperoleh

$$\hat{\sigma}_E^2 = MS_E, \quad (2.30)$$

$$\hat{\sigma}_B^2 = \frac{MS_P - MS_E}{n}, \quad (2.31)$$

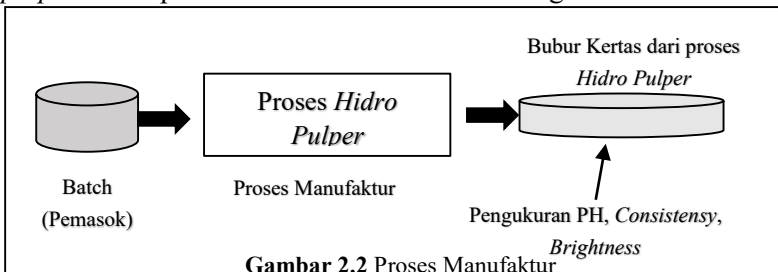
$$\hat{\sigma}_A^2 = \frac{MS_B - MS_P}{bn}. \quad (2.32)$$

## 2.6 Proses Hidro Pulper

Bahan baku masuk ke drum *hidro pulper* yang berfungsi menguraikan serat dan mengubah bahan baku menjadi buburan kertas secara berurutan agar proses penghancuran lebih optimal. Bahan baku yang pertama diangkut adalah OIMG merupakan bahan baku berupa majalah bekas, dimana di dalamnya masih banyak mengandung serat panjang, tinta yang lebih banyak dan berwarna serta mempunyai *coating* yang sulit hancur terhadap air. Bahan baku yang diangkut selanjutnya adalah SWL. SWL merupakan bahan baku yang berupa kertas HVS bekas, dimana proses penghancuran bahan baku tidak membutuhkan waktu yang lama. Sedangkan bahan baku yang terakhir masuk adalah ONP yang merupakan campuran koran dan majalah bekas yang lebih mudah dihancurkan.

Setelah bahan baku OIMG, SWL, OINP, ONP dimasukkan ke dalam drum *hidro pulper* untuk dihancurkan menjadi buburan kertas dengan proses *swealing*. Agar hole yang berukuran 6, 8, 9 mm di dalam *drum pulper* tidak tersumbat oleh kotoran, maka kotoran didorong oleh air bertekanan tinggi, yaitu  $\pm 6$  bar, sehingga buburan jatuh ke *vat tank* dan diaduk menggunakan agitator dengan tujuan untuk menjadikan buburan tersebut homogen. Proses pemasakan keseluruhan dalam *drum pulper* dibutuhkan waktu selama  $\pm 45$  menit. Untuk pemasakan bahan baku, membutuhkan bahan kimia NaOH, DI E 100, DI 280,  $H_2O_2$  dan Multichelete D 288 yang ditambahkan secara berurutan.

Secara sistematis bagan proses manufaktur proses *hidro pulper* untuk perencanaan kualitas adalah sebagai berikut.



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dengan pengamatan langsung di PT. Adiprima Suraprinta pada bagian laboratorium departemen *quality control* pada tanggal 6 April 2016 sampai dengan 16 April 2016. Sampel diperoleh dari produksi kertas jenis Prima 56-60. Sampel buburan kertas yang digunakan diambil dari proses *Hidro Pulper* pada *Stock Preperation* 1.

### 3.2 Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan variabel karakteristik kualitas pada proses produksi kertas jenis Prima 56-60 di PT. Adiprima Suraprinta adalah sebagai berikut.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

No.	Karakteristik Kualitas	Keterangan	Satuan	Batas Spesifikasi
1	pH	Derajat keasaman	-	9±1
2	<i>Consistency</i>	Kandungan pulp di dalam buburan	%	16±1
3	<i>Brightness</i>	Derajat keputihan	% ISO	51,00 ± 1

Alat ukur yang digunakan dalam mengukur pH yaitu dengan pH meter, sedangkan alat ukur yang digunakan dalam mengukur *consistency* yaitu dengan media vacuum. Alat yang digunakan dalam mengukur *brightness* yaitu dengan L&W.

### 3.3 Struktur Data

Struktur data untuk peta kendali  $T^2$  *Hotelling* subgrup pada data kualitas proses produksi *Hidro Pulper* jenis kertas Prima 56-60 dapat ditunjukkan pada tabel berikut. Subgrup yang digunakan yaitu batch Berikut adalah Struktur data  $T^2$  *Hotelling* pada produk kertas jenis Prima 56-60 di PT. Adiprima Suraprinta.

**Tabel 3.2** Struktur Data  $T^2$  Hotelling

Subgrup (k)	Sampel (i)	Variabel Kualitas (j)		
		pH	Consistency	Brightness
1	1	$X_{111}$	$X_{121}$	$X_{131}$
	2	$X_{211}$	$X_{221}$	$X_{231}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	n	$X_{n11}$	$X_{n21}$	$X_{n31}$
2	1	$X_{112}$	$X_{122}$	$X_{132}$
	2	$X_{212}$	$X_{222}$	$X_{232}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	n	$X_{n12}$	$X_{n22}$	$X_{n32}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
m	1	$X_{11m}$	$X_{12m}$	$X_{13m}$
	2	$X_{21m}$	$X_{22m}$	$X_{23m}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	n	$X_{n1m}$	$X_{n2m}$	$X_{n3m}$

Struktur data pengambilan sampel pada rancangan bersarang ditunjukkan pada Tabel 3.3, dimana karakteristik kualitas yang digunakan adalah karakteristik kualitas yang paling jauh dari batas kendali yaitu kualitas yang paling buruk diantaranya adalah pH atau *consistency* atau *brightness*.

**Tabel 3.3** Struktur Data Pengamatan Rancangan Bersarang

Batches	Product	Test	Karakteristik Kualitas
1	1	1	$Y_{111}$
1	1	2	$Y_{112}$
1	2	1	$Y_{121}$
1	2	2	$Y_{122}$
2	1	1	$Y_{211}$
2	1	2	$Y_{212}$
2	2	1	$Y_{221}$
2	2	2	$Y_{222}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
n	1	1	$Y_{n11}$
n	1	2	$Y_{n12}$

$n$	2	1	$Y_{n21}$
$n$	2	2	$Y_{n22}$

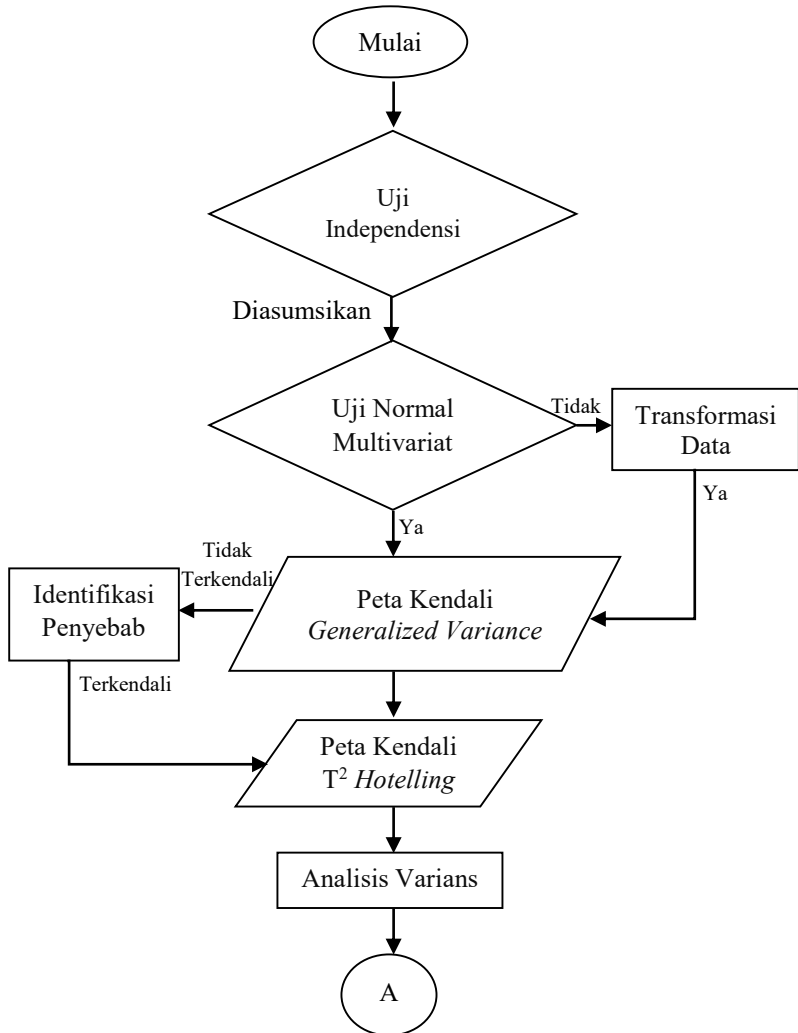
### 3.4 Langkah Analisis

Langkah analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

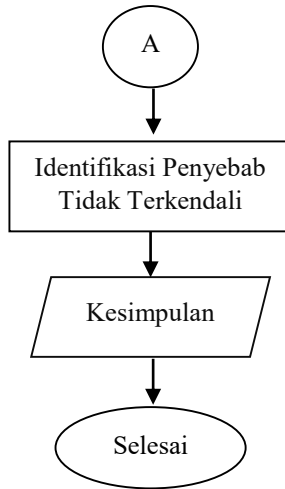
1. Studi literatur mengenai pengendalian kualitas statistik menggunakan peta kendali  $T^2$  *Hotelling*.
2. Melakukan pengamatan untuk mengambil data pada proses produksi kertas di PT. Adiprima Suraprinta.
3. Menguji hubungan antar variabel karakteristik kualitas kertas jenis Prima 56-60 di PT. Adiprima Suraprinta dengan menggunakan uji dependensi *Bartlett*.
4. Menguji distribusi normal multivariat pada data karakteristik kualitas kertas jenis Prima 56-60 di PT. Adiprima Suraprinta.
5. Mengetahui varians suatu proses sudah terkendali atau belum dengan menggunakan peta kendali *Generalized Variance*.
6. Mengetahui rata-rata proses produksi kertas di PT. Adiprima Suraprinta sudah terkendali atau belum dengan menggunakan peta kendali  $T^2$  *Hotelling* Subgrup.
7. Mengetahui faktor yang menyebabkan proses produksi kertas tidak terkendali dengan menggunakan analisis varians.
8. Mengetahui penyebab proses produksi tidak terkendali dengan analisis komponen variansi.
9. Menginterpretasikan hasil analisis.
10. Menarik kesimpulan dan saran.

### 3.5 Diagram Alir

Diagram alir yang digambarkan dalam penelitian adalah sebagai berikut.



**Gambar 3.1** Diagram Alir



**Gambar 3.1** Diagram Alir (Lanjutan)



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengujian Korelasi antar Variabel

Pengujian korelasi antar variabel atau uji *Bartlett Sphericity* digunakan untuk mengetahui karakteristik kualitas pH, *consistency* dan *brightness* dari proses *Hidro Pulper* yang dikontrol saling berhubungan.

Hipotesis:

$H_0 : \mathbf{R} = \mathbf{I}$  (Tidak ada korelasi antara karakteristik kualitas pH, *consistency* dan *brightness*)

$H_1 : \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$  (Ada korelasi antara karakteristik kualitas pH, *consistency* dan *brightness*)

Taraf Signifikan ( $\alpha$ ): 0,05

Daerah kritis: Tolak  $H_0$  jika  $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1))}$

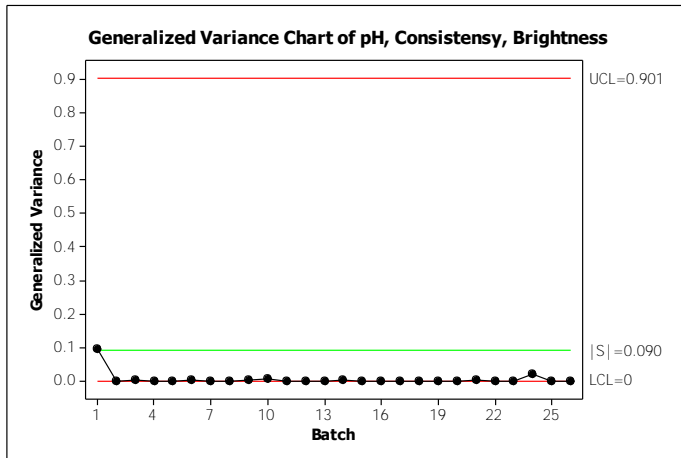
Dengan menggunakan taraf signifikan sebesar 5% didapatkan nilai  $\chi^2_{(0,05,3)} = 0,3518$  pada lampiran 2, sehingga memberikan keputusan tolak  $H_0$  karena  $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{tabel}$  ( $15,3428 > 0,3518$ ). Jadi karakteristik kualitas pH, *consistency* dan *brightness* saling berkorelasi.

### 4.2 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat

Asumsi kedua yang harus dipenuhi dalam membuat grafik kendali multivariat  $T^2$  *Hotelling* yaitu pemeriksaan asumsi distribusi normal multivariat, dengan menggunakan mardia tes pada lampiran 3 didapatkan nilai *P-value mSkewness* dan *mKurtosis* sebesar 0,030 dan 0,0862. Maka dapat disimpulkan bahwa karakteristik kualitas pH, *consistency* dan *brightness* berdistribusi normal multivariat dengan tingkat kepercayaan 98%.

### 4.3 Grafik Kendali *Generalized Variance*

Grafik kendali *Generalized Variance* (GV) digunakan untuk mengetahui apakah varians pada suatu proses *Hidro Pulper* sudah terkendali atau belum. Berikut adalah grafik grafik kendali GV pada proses *Hidro Pulper*.

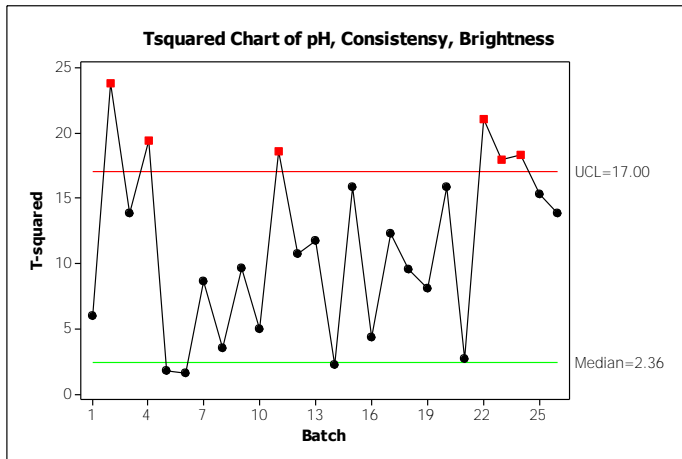


Gambar 4.1 Grafik Kendali GV

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa varians dari karakteristik kualitas pH, *Consistensy* dan *Brightness* pada proses *Hidro Pulper* sudah terkendali secara statistik. Hal ini dapat terlihat tidak ada pengamatan yang keluar dari batas kendali atas dan batas kendali bawah serta titik-titik yang tersebar tidak membentuk pola.

### 4.4 Grafik Kendali Multivariat $T^2$ Hotelling

Varians dari proses produksi kertas di proses *Hidro Pulper* sudah terkendali statistik, sehingga selanjutnya dapat melihat apakah suatu proses *Hidro Pulper* sudah terkendali statistik atau belum dengan menggunakan grafik kendali multivariat  $T^2$  Hotelling subgrup. Subgrup yang digunakan yaitu *batch*, berikut adalah grafik grafik kendali multivariat  $T^2$  Hotelling subgrup.



**Gambar 4.2** Grafik Kendali  $T^2$  Hotelling Subgrup

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa pada grafik kendali  $T^2$  Hotelling subgrup untuk karakteristik kualitas pH, *consistency* dan *brightness* pada proses *Hidro Pulper* dalam keadaan tidak terkendali statistik. Hal ini terlihat ada enam titik yang keluar dari batas kendali atas, yaitu pada batch ke-2, 4, 11, 22, 23 dan 24 dengan nilai batas kendali atas sebesar 17,00 dan nilai tengah sebesar 2,36.

Selanjutnya mencari penyebab karakteristik mana yang menyebabkan proses tidak terkendali dari titik pengamatan yang pa-ling jauh dari batas kendali yaitu pengamatan pada batch ke-2 dengan menggunakan proses dekomposisi nilai statistik  $T^2$  menjadi komponen yang dapat merefleksikan kontribusi dari masing-masing variabel dengan menggunakan rumus 2.10. Berikut Tabel 4.1 nilai dekomposisi penyebab *proses tidak terkendali*.

**Tabel 4.1** Karakteristik Penyebab Proses Tidak Terkendali

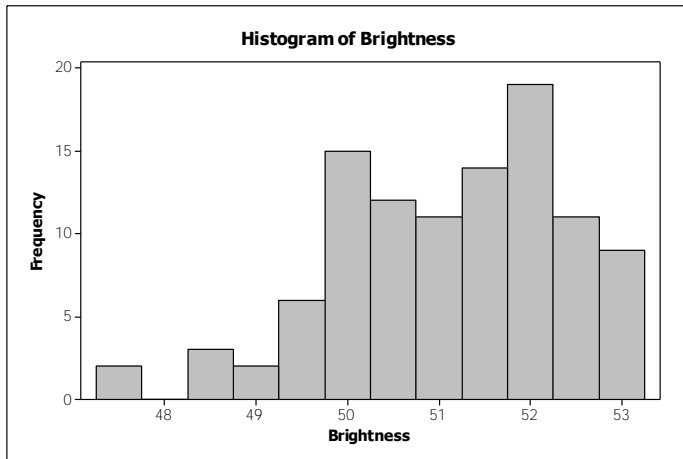
Subgrup ke-	d <sub>pH</sub>	d <sub>consistency</sub>	d <sub>brightness</sub>	Karakteristik Penyebab Proses Tidak Terkendali
2	0,637	8,616	16,443	<i>Brightness</i>
4	3,767	0,002	11,049	<i>Brightness</i>
11	0,267	15,508	6,844	<i>Consistency</i>
22	0,18	0,275	20,33	<i>Brightness</i>
23	3,38	8,981	5,724	<i>Consistency</i>
24	6,455	8,888	2,269	<i>Consistency</i>

Pada subgrup ke-2, 4 dan 22 karakteristik kualitas penyebab proses tidak terkendali semuanya adalah karakteristik kualitas dari *brightness*. Sedangkan subgrup ke-11, 23 dan 24 penyebab proses tidak terkendali disebabkan karena *consistency*.

Penyebab utama proses tidak terkendali dapat diketahui menggunakan komponen variansi rancangan bersarang dengan menggunakan karakteristik kualitas penyebab proses tidak terkendali yang paling jauh dari batas kendali yaitu ada batch ke-2, karakteristik kualitas yang menyebabkan proses tidak terkendali yaitu *brightness*. Sehingga *brightness* dalam proses *Hidro Pulper* harus segera diperbaiki terlebih dahulu.

#### 4.5 Perencanaan Kualitas dengan Komponen Variansi

Untuk melihat sebaran data pada karakteristik *brightness* maka dapat melihat grafik histogram. Kegunaan histogram ini adalah untuk melihat rata-rata dan melihat variabilitas data. Perusahaan dalam mengukur mutu *brightness* menggunakan batas spesifikasi  $51 \pm 1$ . Gambar 4.3 menunjukkan bahwa sebanyak 16% data berada di bawah batas spesifikasi bawah dan 31% data berada di atas batas spesifikasi atas. Dari histogram ini mengindikasikan bahwa terdapat masalah dalam karakteristik kualitas *brightness* karena variabilitasnya pun sangat besar. Sehingga dilakukan analisis komponen variansi untuk melihat faktor apa yang menyebabkan variansi *brightness* besar.



**Gambar 4.3** Histogram Karakteristik Kualitas *Brightness*

Rancangan yang digunakan dalam analisis komponen varians yaitu dengan rancangan bersarang. Faktor yang mungkin menyebabkan *brightness* buburan kertas proses tidak terkendali yaitu dari *batch*, produk atau pengukurannya. Sehingga untuk mengetahui faktor penyebab terbanyak yang menyebabkan *brightness* buburan kertas tidak terkendali dapat melihat nilai varians terbesar dari ketiga faktor tersebut.

Untuk mengetahui faktor yang memengaruhi *brightness* tidak terkendali maka dapat dilakukan pengujian menggunakan ANOVA.

Hipotesis faktor *batch*:

$H_0: \sigma_B^2 = 0$  (Tidak ada hubungan antara *batch* dengan *brightness* tidak terkendali)

$H_1: \sigma_B^2 \neq 0$  (Ada hubungan antara *batch* dengan *brightness* tidak terkendali)

Hipotesis faktor produk:

$H_0: \sigma_P^2 = 0$  (Tidak ada hubungan antara produk dengan *brightness* tidak terkendali)

$H_1: \sigma_p^2 \neq 0$  (Ada hubungan antara produk dengan *brightness* tidak terkendali)

Taraf signifikan ( $\alpha$ ): 5%

Daerah Kritis: Tolak  $H_0$  jika  $F > F_{\text{tabel}}$  atau  $P\text{-value} < \alpha$

**Tabel 4.2 ANOVA**

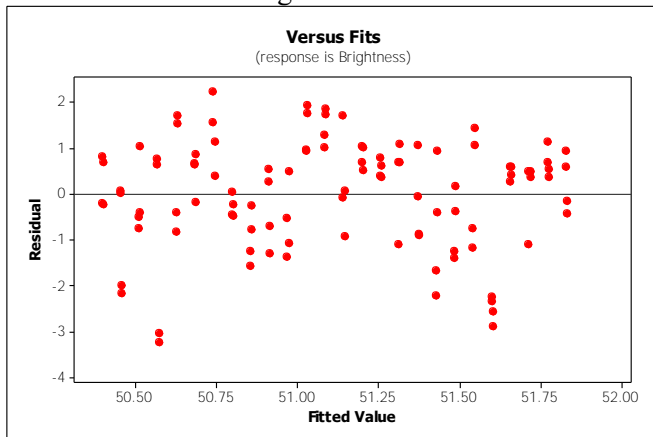
Sumber	DF	SS	MS	F	$F_{\text{tabel}}$	P-value
Batch	25	98,3058	3,9322	2,086	0,544	0,034
Produk	26	49,0136	1,8851	7,53	0,550	0,000
Error	52	13,0184	0,2504			
Total	103	160,3378				

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa pada faktor *batch* memberi keputusan tolak  $H_0$  karena  $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$  ( $2,086 > 0,544$ ) dan  $P\text{-value} < \alpha$  ( $0,034 < 0,05$ ) yang berarti ada hubungan antara produk dengan *brightness* tidak terkendali. Begitu juga pada faktor produk memberi keputusan tolak  $H_0$  karena nilai  $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$  ( $7,53 > 0,55$ ) dan  $P\text{-value} < \alpha$  ( $0,000 < 0,05$ ) sehingga ada hubungan antara faktor produk dengan *brightness* tidak terkendali.

#### 4.5.1 Pemeriksaan Asumsi Residual IIDN ( $0, \sigma^2$ )

##### a. Asumsi Residual Identik

Pemeriksaan asumsi residual identik dapat diidentifikasi dari plot residual versus fits sebagai berikut.



**Gambar 4.5** Plot Residual Vs Fits

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa secara visual plot residual versus fits tidak membentuk suatu pola tertentu, sehingga dapat dikatakan bahwa secara visual residual memenuhi asumsi identik. Kemudian dilanjutkan pengujian menggunakan uji *glejser* agar kesimpulannya dapat diterima dengan hipotesis sebagai berikut:

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_n^2 = \sigma^2 \text{ (Residual identik)}$$

$$H_1 : \text{Minimal ada satu } \sigma_i^2 \neq \sigma^2, \text{ dengan } i = 1, 2, \dots, n \text{ (Residual tidak identik)}$$

Taraf Signifikan ( $\alpha$ ): 5%

Daerah kritis: Tolak  $H_0$  jika  $P\text{-value} < \alpha$

Berdasarkan lampiran 5 didapatkan nilai  $P\text{-value}$  sebesar 0,857 lebih besar dari  $\alpha$  sebesar 0,05 maka diputuskan gagal tolak  $H_0$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa residual telah memenuhi asumsi identik.

#### b. Asumsi Residual Independen

Pemeriksaan asumsi residual independen dapat diidentifikasi dari nilai *durbin watson* dengan hipotesis sebagai berikut:

$$H_0 : \rho = 0 \text{ (Residual independen)}$$

$$H_1 : \rho \neq 0 \text{ (Residual tidak independen)}$$

Taraf Signifikan ( $\alpha$ ): 5%

Daerah Kritis: Tolak  $H_0$  jika  $d < d_u$

Berdasarkan lampiran 6 didapatkan nilai  $d$  sebesar 2,889 lebih besar dari  $d_u$  sebesar 1,772 maka dapat diputuskan gagal tolak  $H_0$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa residual memenuhi asumsi independen.

#### c. Asumsi Berdistribusi Normal

Pemeriksaan asumsi residual berdistribusi normal dengan menggunakan pengujian *Kolmogorov Smirnov*, berikut adalah pengujiannya:

$$H_0 : F(x) = F_0(x) \text{ untuk semua nilai } x \text{ (Residual berdistribusi normal)}$$

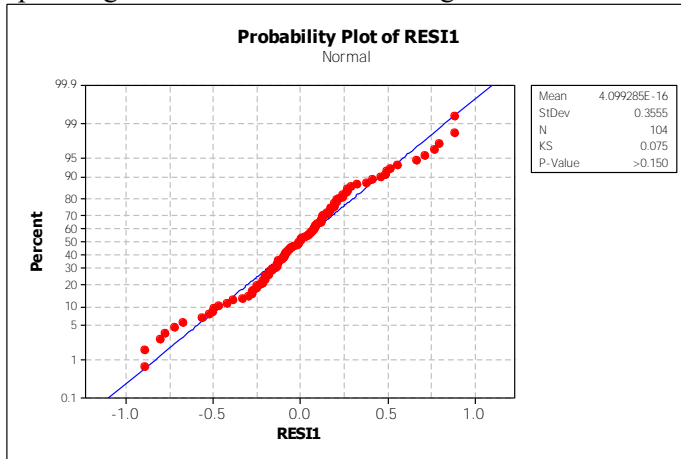
$$H_1 : F(x) \neq F_0(x) \text{ untuk sekurang-kurangnya sebuah nilai } x \text{ (Residual tidak berdistribusi normal)}$$

Taraf Signifikan ( $\alpha$ ): 5%



Daerah kritis: Tolak  $H_0$  jika  $P\text{-value} < \alpha$

Didapatkan grafik distribusi normal sebagai berikut.



**Gambar 4.4** *Probability Plot of Residual*

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa plot residual mengikuti garis normal, selain itu diidentifikasi dari nilai  $P\text{-value}$  (0,150) yang lebih besar dari  $\alpha$  maka dapat diputuskan gagal tolak  $H_0$ . Sehingga disimpulkan residual telah memenuhi asumsi berdistribusi normal.

#### 4.5.2 Komponen Variansi

Residual telah memenuhi asumsi identik, independen dan berdistribusi normal, selanjutnya melihat variansi dari faktor mana yang paling terbesar menyebabkan *brightness* tidak terkendali yaitu dengan menggunakan komponen variansi dari ekspektasi *mean square*.

$$\begin{aligned}
 \hat{\sigma}_E^2 &= MS_E \\
 &= 0,2504 \\
 \hat{\sigma}_P^2 &= \frac{MS_P - MS_E}{n} \\
 &= \frac{1,8851 - 0,2504}{2} \\
 &= 0,81739
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \hat{\sigma}_B^2 &= \frac{MS_B - MS_P}{bn} \\
 &= \frac{3,9322 - 1,8851}{(2)(2)} \\
 &= 0,51177
 \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Komponen Variansi

Sumber	DF	Komponen Variansi	% Total	St-Dev
Batch	25	0,512	32,426	0,715
Produk	26	0,817	51,742	0,904
Pengukuran	52	0,250	15,832	0,500
Total	103	1,579	100	1,257

Tabel 4.3 menunjukkan sumber varians terbesar yang menyebabkan karakteristik kualitas *brightness* pada proses *Hidro Pulper* tidak terkendali yaitu karena faktor produk dengan kontribusi variansnya sebesar 51,742%. Hal ini berarti proses manufaktur pada proses *hidro pulper* harus segera diperbaiki terlebih dahulu. Proses penggilingan kertas di proses *Hidro Pulper* menggunakan bahan *chemical* yaitu NaOH, DI E 100, DI 280, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dan *Multichelete* D 288, kelima bahan kimia tersebut belum tercampur rata dalam proses *hidro pulper* sehingga menyebabkan pada saat pengambilan sampel pertama dan kedua kurang homogen. Dalam sekali proses penghancuran kertas untuk produk prima 56-60 di *hidro pulper* membutuhkan waktu kurang lebih 45 menit secara teknis. Tetapi dalam kenyataannya untuk waktu 45 menit ternyata masih belum menghomogenkan buburan kertas. Sehingga menyebabkan varians *brightness* yang besar di dalam proses tersebut.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

**Lampiran 1.** Data Pengamatan

Batch	Produk	Pengukuran	pH	Consistensy	Brightness
1	1	1	9.11	15.64	51.2
1	1	2	8.08	18.87	50.2
1	2	1	8.07	14.83	50.16
1	2	2	8.22	16.2	51.09
2	1	1	9.47	15.15	50.53
2	1	2	9.01	14.04	50.46
2	2	1	7.53	14.96	48.45
2	2	2	7.44	14.92	48.28
3	1	1	9.74	14.11	50.01
3	1	2	9.78	14.12	49.76
3	2	1	8.28	15	50.11
3	2	2	8.4	15.79	51.55
4	1	1	8.61	13.96	51.2
4	1	2	8.58	15.56	51.34
4	2	1	7.7	16.54	47.34
4	2	2	7.72	17.85	47.54
5	1	1	8.78	16.34	49.79
5	1	2	8.53	16.32	50.21
5	2	1	9.01	15.94	52.34
5	2	2	9.15	15.9	52.16
6	1	1	9.29	17.2	51.32
6	1	2	9.14	17.32	51.34
6	2	1	8.7	14.3	51.54
6	2	2	8.75	14.33	50.5
7	1	1	9.19	15.62	52.3

Batch	Produk	Pengukuran	pH	Consistensy	Brightness
7	1	2	9.3	14.9	52.96
7	2	1	9.25	15.11	51.12
7	2	2	9.17	16.01	51.88
8	1	1	9.4	16.31	50.35
8	1	2	9.37	15.83	50.84
8	2	1	8.4	16.1	50.32
8	2	2	8.47	15.65	50.57
9	1	1	9.17	17.2	49.61
9	1	2	8.6	16.55	49.27
9	2	1	8.84	14.14	50.61
9	2	2	8.75	14.61	50.07
10	1	1	9.4	15.96	51.44
10	1	2	9.44	15.23	51.17
10	2	1	8.33	15.4	50.21
10	2	2	8.92	15.21	49.62
11	1	1	9.33	14.07	49.6
11	1	2	8.85	14.18	50.44
11	2	1	8.4	14.06	51.45
11	2	2	8.27	14.37	49.9
12	1	1	9.23	15.97	51.95
12	1	2	9.13	16.13	51.98
12	2	1	9.12	13.83	52.78
12	2	2	8.92	14.07	52.95
13	1	1	8.59	16.08	52.36
13	1	2	8.64	16.4	52.1
13	2	1	9.04	14.71	52.93
13	2	2	8.38	14.82	52.81
14	1	1	8.35	15.41	52.84

Batch	Produk	Pengukuran	pH	Consistensy	Brightness
14	1	2	8.8	15.69	51.06
14	2	1	8.76	16.75	50.22
14	2	2	8.79	16.83	51.2
15	1	1	8.58	15.81	52.23
15	1	2	8.58	15.9	51.88
15	2	1	8.27	17.45	51.71
15	2	2	8.66	17.75	52.2
16	1	1	8.61	15.61	51.63
16	1	2	8.4	15.87	52.03
16	2	1	8.58	15.54	51.63
16	2	2	8.52	15.62	51.88
17	1	1	8.05	14.81	51.99
17	1	2	8.43	14.94	50.21
17	2	1	8.15	14.63	52.4
17	2	2	8.22	14.72	52.01
18	1	1	8	15.18	52.43
18	1	2	8.09	15.1	51.31
18	2	1	8.15	15.1	50.48
18	2	2	8.4	14.97	50.5
19	1	1	8.15	15.45	49.21
19	1	2	8.2	15.53	49.76
19	2	1	8.28	15.11	51.03
19	2	2	8.13	15.16	52.37
20	1	1	7.78	14.31	50.23
20	1	2	8.13	14.3	50.08
20	2	1	8.09	14.52	51.11
20	2	2	8.53	14.96	51.66
21	1	1	8.62	16.02	50.78

Batch	Produk	Pengukuran	pH	Consistensy	Brightness
21	1	2	8.46	15.3	50.36
21	2	1	8.73	15.47	52.59
21	2	2	8.68	16.3	52.98
22	1	1	8.27	15.67	49.35
22	1	2	8.71	16.21	49.26
22	2	1	8.74	15.63	48.72
22	2	2	8.66	16.01	49.04
23	1	1	8.92	15.76	51.93
23	1	2	8.94	15.51	52.24
23	2	1	9.5	17.78	52.06
23	2	2	9.55	17.85	52.25
24	1	1	9.25	15.98	50.61
24	1	2	9.02	15.85	52.21
24	2	1	9.24	17.57	52.09
24	2	2	9.82	17.83	52.2
25	1	1	9.62	16.79	52.45
25	1	2	8.71	16.53	52.9
25	2	1	8.93	16.15	52.13
25	2	2	9.05	15.89	52.31
26	1	1	8.9	16.01	52.41
26	1	2	8.8	16.17	52.77
26	2	1	9.7	16.17	51.4
26	2	2	10	16.25	51.66

**Lampiran 2.** Output SPSS Uji Dependensi Bartlett's Sphericity**KMO and Bartlett's Test**

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.512
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	15.343
	df	3
	Sig.	.002

**Lampiran 3.** Output Stata Mardia Tes

Test for multivariate normality	
Mardia mSkewness = 2.107377	chi2(10) = 38.126 Prob>chi2 = 0.030
Mardia mKurtosis = 16.84294	chi2(1) = 2.944 Prob>chi2 = 0.0862

**Lampiran 4.** Perhitungan Manual Anova

Brightness	total (y(ij))	Total (Yi..)	(y(ij))^2	(Yi..)^2	y(ijk)^2
51.2	101.4	202.65	10281.96	41067.023	2621.44
50.2					2520.04
50.16	101.25		10251.5625		2516.0256
51.09					2610.1881
50.53	100.99	197.72	10198.9801	39093.198	2553.2809
50.46					2546.2116
48.45	96.73		9356.6929		2347.4025
48.28					2330.9584
50.01	99.77	201.43	9954.0529	40574.045	2501.0001
49.76					2476.0576
50.11	101.66		10334.7556		2511.0121
51.55					2657.4025
51.2	102.54	197.42	10514.4516	38974.656	2621.44
51.34					2635.7956
47.34	94.88		9002.2144		2241.0756
47.54					2260.0516



49.79	100	204.5	10000	41820.25	2479.0441
50.21					2521.0441
52.34	104.5		10920.25		2739.4756
52.16					2720.6656
51.32	102.66	204.7	10539.0756	41902.09	2633.7424
51.34					2635.7956
51.54	102.04		10412.1616		2656.3716
50.5					2550.25
52.3	105.26	208.26	11079.6676	43372.228	2735.29
52.96					2804.7616
51.12	103		10609		2613.2544
51.88					2691.5344
50.35	101.19	202.08	10239.4161	40836.326	2535.1225
50.84					2584.7056
50.32	100.89		10178.7921		2532.1024
50.57					2557.3249
49.61	98.88	199.56	9777.2544	39824.194	2461.1521
49.27					2427.5329
50.61	100.68		10136.4624		2561.3721
50.07					2507.0049
51.44	102.61	202.44	10528.8121	40981.954	2646.0736
51.17					2618.3689
50.21	99.83		9966.0289		2521.0441
49.62					2462.1444
49.6	100.04	201.39	10008.0016	40557.932	2460.16
50.44					2544.1936
51.45	101.35		10271.8225		2647.1025
49.9					2490.01
51.95	103.93	209.66	10801.4449	43957.316	2698.8025
51.98					2701.9204
52.78	105.73		11178.8329		2785.7284
52.95					2803.7025
52.36	104.46	210.2	10911.8916	44184.04	2741.5696
52.1					2714.41

52.93	105.74		11180.9476		2801.5849
52.81					2788.8961
52.84	103.9	205.32	10795.21	42156.302	2792.0656
51.06					2607.1236
50.22	101.42		10286.0164		2522.0484
51.2					2621.44
52.23	104.11	208.02	10838.8921	43272.32	2727.9729
51.88					2691.5344
51.71	103.91		10797.2881		2673.9241
52.2					2724.84
51.63	103.66	207.17	10745.3956	42919.409	2665.6569
52.03					2707.1209
51.63	103.51		10714.3201		2665.6569
51.88					2691.5344
51.99	102.2	206.61	10444.84	42687.692	2702.9601
50.21					2521.0441
52.4	104.41		10901.4481		2745.76
52.01					2705.0401
52.43	103.74	204.72	10761.9876	41910.278	2748.9049
51.31					2632.7161
50.48	100.98		10196.9604		2548.2304
50.5					2550.25
49.21	98.97	202.37	9795.0609	40953.617	2421.6241
49.76					2476.0576
51.03	103.4		10691.56		2604.0609
52.37					2742.6169
50.23	100.31	203.08	10062.0961	41241.486	2523.0529
50.08					2508.0064
51.11	102.77		10561.6729		2612.2321
51.66					2668.7556
50.78	101.14	206.71	10229.2996	42729.024	2578.6084
50.36					2536.1296
52.59	105.57		11145.0249		2765.7081
52.98					2806.8804

49.35	98.61	196.37	9723.9321	38561.177	2435.4225
49.26					2426.5476
48.72	97.76		9557.0176		2373.6384
49.04					2404.9216
51.93	104.17	208.48	10851.3889	43463.91	2696.7249
52.24					2729.0176
52.06	104.31		10880.5761		2710.2436
52.25					2730.0625
50.61	102.82	207.11	10571.9524	42894.552	2561.3721
52.21					2725.8841
52.09	104.29		10876.4041		2713.3681
52.2					2724.84
52.45	105.35	209.79	11098.6225	44011.844	2751.0025
52.9					2798.41
52.13	104.44		10907.7136		2717.5369
52.31					2736.3361
52.41	105.18	208.24	11062.8324	43363.898	2746.8081
52.77					2784.6729
51.4	103.06		10621.3636		2641.96
51.66					2668.7556

Nilai *sum of square* dapat ditunjukkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 SS_B &= \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{i..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \\
 &= \frac{1}{(2)(2)} (41067,02 + 39093,2 + \dots + 43363,9) - \frac{28259856}{(26)(2)(2)} \\
 &= 271827,6905 - 271729,4 \\
 &= 98,30583462
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SS_P &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{i..}^2 \\
&= \frac{1}{2} (10281,96 + 12051,5625 + \dots + 10621,3636) - 272817,6905 \\
&= 271876,704 - 272817,6905 \\
&= 49,01355 \\
SS_T &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \\
&= (2621,44 + 2520,04 + \dots + 2668,756) - 271729,4 \\
&= 271889,7 - 271729,4 \\
&= 160,3377846 \\
SS_E &= 160,3377846 - 98,30583462 - 49,01355 \\
&= 13,0184
\end{aligned}$$

Selanjutnya menghitung nilai *mean square* sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
MS_B &= \frac{98,30583462}{25} = 3,93223 \\
MS_P &= \frac{49,01355}{26} = 1,88513 \\
MS_E &= \frac{13,0184}{52} = 0,25035
\end{aligned}$$

Sehingga didapatkan nilai  $F_{hitung}$  dari masing-masing faktor sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
F_B &= \frac{MS_B}{MS_P} \\
&= \frac{3,93223}{1,88513} = 2,0859 \\
F_P &= \frac{MS_P}{MS_E} \\
&= \frac{1,88513}{0,25035} = 7,53
\end{aligned}$$

**Lampiran 5. Output Minitab Uji Glejser****Regression Analysis: abs (resid) versus Batch, Produk**

The regression equation is

abs (resid) = 0.306 - 0.00144 Batch - 0.0142 Produk

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.30585	0.08474	3.61	0.000
Batch	-0.001444	0.003105	-0.47	0.643
Produk	-0.01423	0.04658	-0.31	0.761

S = 0.237510    R-Sq = 0.3%    R-Sq(adj) = 0.0%

**Analysis of Variance**

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0.01747	0.00874	0.15	0.857
Residual Error	101	5.69753	0.05641		
Total	103	5.71500			

**Lampiran 6. Perhitungan Manual Durbin Watson**

RESII	et-1	(et-(et-1))^2	et^2
0.5	-	-	0.25
-0.5	0.5	1	0.25
-0.465	-0.5	0.001225	0.216225
0.465	-0.465	0.8649	0.216225
0.035	0.465	0.1849	0.001225
-0.035	0.035	0.0049	0.001225
0.085	-0.035	0.0144	0.007225
-0.085	0.085	0.0289	0.007225
0.125	-0.085	0.0441	0.015625
-0.125	0.125	0.0625	0.015625
-0.72	-0.125	0.354025	0.5184
0.72	-0.72	2.0736	0.5184
-0.07	0.72	0.6241	0.0049
0.07	-0.07	0.0196	0.0049
-0.1	0.07	0.0289	0.01

RES11	et-1	(et-(et-1))^2	et^2
0.1	-0.1	0.04	0.01
-0.21	0.1	0.0961	0.0441
0.21	-0.21	0.1764	0.0441
0.09	0.21	0.0144	0.0081
-0.09	0.09	0.0324	0.0081
-0.01	-0.09	0.0064	1E-04
0.01	-0.01	0.0004	0.0001
0.52	0.01	0.2601	0.2704
-0.52	0.52	1.0816	0.2704
-0.33	-0.52	0.0361	0.1089
0.33	-0.33	0.4356	0.1089
-0.38	0.33	0.5041	0.1444
0.38	-0.38	0.5776	0.1444
-0.245	0.38	0.390625	0.060025
0.245	-0.245	0.2401	0.060025
-0.125	0.245	0.1369	0.015625
0.125	-0.125	0.0625	0.015625
0.17	0.125	0.002025	0.0289
-0.17	0.17	0.1156	0.0289
0.27	-0.17	0.1936	0.0729
-0.27	0.27	0.2916	0.0729
0.135	-0.27	0.164025	0.018225
-0.135	0.135	0.0729	0.018225
0.295	-0.135	0.1849	0.087025
-0.295	0.295	0.3481	0.087025
-0.42	-0.295	0.015625	0.1764
0.42	-0.42	0.7056	0.1764
0.775	0.42	0.126025	0.600625
-0.775	0.775	2.4025	0.600625
-0.015	-0.775	0.5776	0.000225
0.015	-0.015	0.0009	0.000225
-0.085	0.015	0.01	0.007225
0.085	-0.085	0.0289	0.007225
0.13	0.085	0.002025	0.0169
-0.13	0.13	0.0676	0.0169
0.06	-0.13	0.0361	0.0036
-0.06	0.06	0.0144	0.0036
0.89	-0.06	0.9025	0.7921
-0.89	0.89	3.1684	0.7921
-0.49	-0.89	0.16	0.2401

RES11	et-1	(et-(et-1))^2	et^2
0.49	-0.49	0.9604	0.2401
0.175	0.49	0.099225	0.030625
-0.175	0.175	0.1225	0.030625
-0.245	-0.175	0.0049	0.060025
0.245	-0.245	0.2401	0.060025
-0.2	0.245	0.198025	0.04
0.2	-0.2	0.16	0.04
-0.125	0.2	0.105625	0.015625
0.125	-0.125	0.0625	0.015625
0.89	0.125	0.585225	0.7921
-0.89	0.89	3.1684	0.7921
0.195	-0.89	1.177225	0.038025
-0.195	0.195	0.1521	0.038025
0.56	-0.195	0.570025	0.3136
-0.56	0.56	1.2544	0.3136
-0.01	-0.56	0.3025	1E-04
0.01	-0.01	0.0004	0.0001
-0.275	0.01	0.081225	0.075625
0.275	-0.275	0.3025	0.075625
-0.67	0.275	0.893025	0.4489
0.67	-0.67	1.7956	0.4489
0.075	0.67	0.354025	0.005625
-0.075	0.075	0.0225	0.005625
-0.275	-0.075	0.04	0.075625
0.275	-0.275	0.3025	0.075625
0.21	0.275	0.004225	0.0441
-0.21	0.21	0.1764	0.0441
-0.195	-0.21	0.000225	0.038025
0.195	-0.195	0.1521	0.038025
0.045	0.195	0.0225	0.002025
-0.045	0.045	0.0081	0.002025
-0.16	-0.045	0.013225	0.0256
0.16	-0.16	0.1024	0.0256
-0.155	0.16	0.099225	0.024025
0.155	-0.155	0.0961	0.024025
-0.095	0.155	0.0625	0.009025
0.095	-0.095	0.0361	0.009025
-0.8	0.095	0.801025	0.64
0.8	-0.8	2.56	0.64
-0.055	0.8	0.731025	0.003025

RESII	et-1	(et-(et-1))^2	et^2
0.055	-0.055	0.0121	0.003025
-0.225	0.055	0.0784	0.050625
0.225	-0.225	0.2025	0.050625
-0.09	0.225	0.099225	0.0081
0.09	-0.09	0.0324	0.0081
-0.18	0.09	0.0729	0.0324
0.18	-0.18	0.1296	0.0324
-0.13	0.18	0.0961	0.0169
0.13	-0.13	0.0676	0.0169
	0.13	0.0169	
Jumlah		37.6161	13.0184

Sehingga  $d = \frac{37,6161}{13,0814} = 2,889456$

### Lampiran 7. Output Minitab *Nested Structure*

<b>Nested ANOVA: Brightness versus Batch, Produk</b>					
Analysis of Variance for Brightness					
Source	DF	SS	MS	F	P
Batch	25	98.3058	3.9322	2.086	0.034
Produk	26	49.0136	1.8851	7.530	0.000
Error	52	13.0184	0.2504		
Total	103	160.3378			
Variance Components					
% of					
Source	Var	Comp.	Total	StDev	
Batch	0.512	32.40	0.715		
Produk	0.817	51.75	0.904		
Error	0.250	15.85	0.500		
Total	1.580		1.257		
Expected Mean Squares					
1 Batch	1.00 (3)	+	2.00 (2)	+	4.00 (1)
2 Produk	1.00 (3)	+	2.00 (2)		
3 Error	1.00 (3)				



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran 1.</b> Data Pengamatan .....	37
<b>Lampiran 2.</b> Output SPSS Uji <i>Bartlett's Sphericity</i> .....	41
<b>Lampiran 3.</b> Output Stata Mardia Tes .....	41
<b>Lampiran 4.</b> Perhitungan Manual Anova .....	41
<b>Lampiran 5.</b> Output Minitab Uji Glejser .....	46
<b>Lampiran 6.</b> Perhitungan Manual Durbin Watson .....	46
<b>Lampiran 7.</b> Output Minitab <i>Nested Structure</i> .....	49

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian tentang perencanaan pengendalian kualitas statistik dalam proses *Hidro Pulper* pada produk Prima 56-60 di PT. Adiprima Suraprinta adalah sebagai berikut.

1. Proses *Hidro Pulper* pada pulper jenis Prima 56-60 di PT. Adiprima Suraprinta tidak terkandali secara statistik.
2. Faktor utama yang menyebabkan proses *Hidro Pulper* pada kertas jenis Prima 56-60 di PT. Adiprima Suraprinta tidak sesuai karena proses manufaktur di proses *Hidro Pulper* kurang baik. Sehingga proses manufakturnya harus diperbaiki terlebih dahulu.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat berikan dalam penelitian tentang perencanaan pengendalian kualitas statistik dalam proses *Hidro Pulper* pada produk Prima 56-60 di PT. Adiprima Suraprinta adalah sebagai berikut.

1. Proses manufaktur *Hidro Pulper* harus segera diperbaiki terlebih dahulu agar mutu pulper produk Prima 56-60 terkendali statistik.
2. Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu sebaiknya penelitian ini dapat dilanjutkan kembali yaitu dengan melakukan perbaikan proses dalam proses *Hidro Pulper*.
3. Saran untuk penelitian selanjutnya dapat menambahkan analisis dengan pendekatan multivariat batch dan spasial kontrol chart.
4. Perbaikan proses dapat dilakukan menggunakan rancangan faktorial dengan faktor yang mempengaruhi yaitu lama pengadukan, persentase bahan baku, suhu, jumlah air, dll untuk mendapatkan *brightness* yang optimum.

5. Mengevaluasi pemasok bahan baku agar tercapai biaya rendah dengan mutu yang sangat baik.
6. Sebaiknya perusahaan melakukan pengecekan mutu di proses *hidro pulper* setiap batchnya bukan setiap 2 jam sekali. Agar mutu pulper tetap terjaga kualitasnya dan mengurangi biaya reproduksi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Draper, N. R & H. Smith. (1998). *Applied Regression Analysis, Third Edition*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Fitria, N. L. (2013). *Implementasi Grafik Pengendalian Multivariat  $T^2$  Hotelling terhadap Kualitas Produk Kertas NewsPrint (NPP) Studi Kasus di PT Adiprima Suraprinta*. Malang, Universitas Negeri Malang.
- Joglekar, A. M. (2003). *Statistical Methods for Six Sigma In R&D and Manufacturing*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Johnson, R. A., & D. Wichern. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis Sixth Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Kusumaningrum, W. E. (2011). *Pengendalian Kualitas Statistik Produk Botol Sting 240 ml di PT IGLAS (Persero)*. Surabaya, Jurusan Statistika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Mardia, K. V. (1970). *Measures of Multivariat Skewness and Kurtosis with Applications*. Biometrika vol 57, hal 519-530
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control, Sixth Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Montgomery, D. C. (2013). *Design and Analysis of Experiments, Eight Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inch.
- Morrison, D. F. (1990). *Multivariate Statistical Methods, Fourth Edition*. The Wharton School University of Pennsylvania.
- Sudjana. (1996). *Teknik Analisis Regresi Dan Korelasi*. Bandung: Tarsito.

## **BIODATA PENULIS**



Penulis bernama Nur Cendana Sari biasa dipanggil Cendana, anak tunggal dari sepasang orang tua bernama Kustomo dan Masrurin. Penulis lahir di Blitar tanggal 25 Juli 1995. Penulis tinggal bersama kedua orang tua di Jalan Menganti Kramat III-B No. 19F Surabaya. Pendidikan formal yang ditempuh penulis adalah TK Gotong Royong Surabaya selama 2 tahun, SD Negeri Jajar Tunggal III 452 Surabaya selama 6 tahun, SMP Negeri 16 Surabaya selama 3 tahun, SMA Negeri 9 Surabaya selama 3 tahun hingga berlanjut ke pendidikan jenjang Diploma III Statistika ITS selama 3 tahun. Dalam menempuh pendidikan di bangku kuliah penulis mendapatkan Beasiswa BPP dan Beasiswa Bidikmisi dari Dikti. Selama kuliah penulis aktif di organisasi yaitu HIMADATA-ITS, penulis menjadi staff Kewirausahaan periode 2014/2015. Masukan, pertanyaan, kritik dan saran untuk penulis dapat dikirimkan melalui email [nurcendanasari9@gmail.com](mailto:nurcendanasari9@gmail.com).